

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-151516

(P2000-151516A)

(43)公開日 平成12年5月30日 (2000.5.30)

(51)Int.Cl.⁷
H 04 B 10/152
10/142
10/04
10/06
H 04 J 11/00

識別記号

F I
H 04 B 9/00
H 04 J 11/00
H 04 L 27/00

テマコード(参考)
L 5 K 0 0 2
Z 5 K 0 0 4
E 5 K 0 2 2

審査請求 未請求 請求項の数16 OL (全12頁) 最終頁に続く

(21)出願番号

特願平10-314472

(22)出願日

平成10年11月5日 (1998.11.5)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 菊永 泰正

東京都日野市旭が丘3丁目1番地の1 株式会社東芝日野工場内

(72)発明者 井辺 博之

東京都日野市旭が丘3丁目1番地の1 株式会社東芝日野工場内

(74)代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

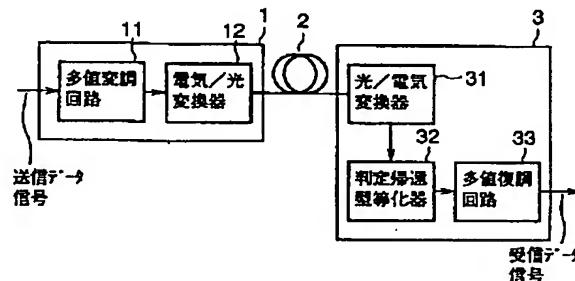
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光伝送システム、光送信機および光受信機

(57)【要約】

【課題】低コストで高速の情報通信を行うことが可能な光伝送システム、光送信機および光受信機を提供する。

【解決手段】光送信機1に多値変調回路11と電気/光変換器12とを備え、送信データ信号をQAM変調信号の形で、かつ光信号として伝送する。光伝送媒体には、マルチモード光ファイバ2を使用する。光受信機3には、光/電気変換器31と、判定帰還型等化器32と、多値復調回路33とを備え、QAM変調信号を光電変換したのち波形整形し、受信復調するようにした。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光送信機と光受信機との間の光伝送媒体としてマルチモード光ファイバを使用する光伝送システムであって、

前記光送信機は、

送信データ信号に多値変調を施す多値変調手段と、この多値変調手段から出力される多値変調信号を光信号に変換して前記マルチモード光ファイバに導出する電気／光変換手段とを備え、

前記光受信機は、

前記マルチモード光ファイバを介して伝送される前記光信号を電気信号に変換して前記多値変調信号を再生出力する多値変調信号再生手段と、

この多値変調信号再生手段から出力される前記多値変調信号を復調して受信データ信号を再生出力する多値復調手段とを備えることを特徴とする光伝送システム。

【請求項2】 前記多値変調信号再生手段は、前記マルチモード光ファイバを介して伝送される光信号を電気信号に変換する光／電気変換手段と、この光／電気変換手段から出力される電気信号の波形を等化し、光伝送の際の波形劣化を補正して前記多値復調手段に送出する判定帰還型等化器とを備えることを特徴とする請求項1に記載の光伝送システム。

【請求項3】 前記判定帰還型等化器は、前記光／電気変換手段から出力される前記電気信号が与えられ、畳み込み演算によりフィルタ処理を施すトランスマルチフィルタと、一方の入力端に前記トランスマルチフィルタの出力が与えられる減算手段と、この減算手段の出力に対して2値の識別を施し、この識別信号を多値変調信号として前記多値復調手段に送出する識別器と、

この識別器から出力される識別信号に畳み込み演算を施し、その結果を前記減算手段の他方の入力端に与えることで前記トランスマルチフィルタの出力に負のフィードバックをかけるフィードバック回路とを具備し、

前記トランスマルチフィルタは、互いに直列に接続され、それぞれ等しい第1の遅延時間有し、前記光／電気変換手段から出力される電気信号を順次遅延するN個（Nは自然数）の第1の遅延器と、前記光／電気変換手段から出力される電気信号と、前記N個の第1の遅延器からそれぞれ出力される遅延信号の各々とに、それぞれ適応化された係数を乗算するN+1個の第1の係数乗算器と、

このN+1個の第1の係数乗算器からの出力を全て加算して当該フィルタの出力信号とする加算手段とを備え、前記フィードバック回路は、

互いに直列に接続され、それぞれ等しい第2の遅延時間有し、前記識別器から与えられる識別信号を順次遅延するL個（Lは自然数であり、L=Nの場合も有り得

る）の第2の遅延器と、

前記L個の第2の遅延器からそれぞれ出力される遅延信号の各々に、それぞれ適応化された係数を乗算するL個の第2の係数乗算器と、

このL個の第2の係数乗算器からの出力を全て加算して当該回路の出力信号とする加算手段とを備え、

前記第1の遅延時間をT'、前記多値変調信号のシンボル周期をTとしたとき、

$$T' = T/n : (n \text{ は } 2 \text{ 以上の自然数})$$

10 としたことを特徴とする請求項2に記載の光伝送システム。

【請求項4】 前記多値変調手段における符号割り当ての際に使用する信号周波数帯域を、システム設計において要求される信号対雑音比を満たす範囲内で、伝送容量が最大となる周波数帯域に設定したことを特徴とする請求項1に記載の光伝送システム。

【請求項5】 光送信機と光受信機との間の光伝送媒体としてマルチモード光ファイバを使用する光伝送システムであって、

20 前記光送信機は、送信データ信号を複数の多値符号列信号に変換する符号化手段と、

この符号化手段から出力される複数の多値符号列信号を複数の搬送波周波数信号に割り当て、前記複数の搬送波周波数信号を各々割り当てられた前記多値符号列信号に基づき変調し、これらの変調信号を周波数多重して出力する周波数分割多重手段と、

この周波数分割多重手段からの出力信号を光信号に変換して前記マルチモード光ファイバに導出する電気／光変換手段とを備え、

30 前記光受信機は、前記マルチモード光ファイバを介して伝送された前記光信号を電気信号に変換する光／電気変換手段と、

この光／電気変換手段から出力される周波数多重信号を搬送波周波数ごとに分離して前記複数の多値符号列信号を再生する周波数分離手段と、

この周波数分離手段で再生される複数の多値符号列信号を復号化して受信データ信号を再生出力する復号化手段とを備えることを特徴とする光伝送システム。

40 【請求項6】 前記複数の搬送波周波数信号を、それぞれ互いに直交するものとしたことを特徴とする請求項5に記載の光伝送システム。

【請求項7】 さらに、前記周波数分離手段から出力される前記複数の多値符号列信号の各々の波形を等化し、光伝送の際の波形劣化を補正して前記復号化手段に送出する判定帰還型等化器を備えることを特徴とする請求項5または6に記載の光伝送システム。

【請求項8】 前記周波数多重手段における符号割り当ての際に使用する信号周波数帯域を、システム設計において要求される信号対雑音比を満たす範囲内で、伝送容

3
量が最大となる周波数帯域に設定したことを特徴とする請求項5または6に記載の光伝送システム。

【請求項9】さらに、前記受信データ信号について、信号伝送の際の符号誤りを訂正する誤り訂正手段を具備することを特徴とする請求項1乃至8のいずれかに記載の光伝送システム。

【請求項10】光伝送媒体としてマルチモード光ファイバを使用する光伝送システムで使用される光送信機において、

送信データ信号に多値変調を施す多値変調手段と、この多値変調手段から出力される多値変調信号を光信号に変換して前記マルチモード光ファイバに導出する電気／光変換手段とを具備することを特徴とする光送信機。

【請求項11】光伝送媒体としてマルチモード光ファイバを使用する光伝送システムで使用される光送信機において、

送信データ信号を複数の多値符号列信号に変換する符号化手段と、

この符号化手段から出力される複数の多値符号列信号を複数の搬送波周波数信号に割り当て、前記複数の搬送波周波数信号を各々割り当てられた前記多値符号列信号に基づき変調し、これらの変調信号を周波数多重して出力する周波数分割多重手段と、

この周波数分割多重手段からの出力信号を光信号に変換して前記マルチモード光ファイバに導出する電気／光変換手段とを具備することを特徴とする光送信機。

【請求項12】前記周波数分割多重手段は、前記符号化手段から出力される複数の多値符号列信号を、それぞれ互いに直交する複数の搬送波周波数信号に割り当て、前記複数の搬送波周波数信号を各々割り当てられた前記多値符号列信号に基づき変調し、これらの変調信号を周波数多重して出力するものであることを特徴とする請求項11に記載の光送信機。

【請求項13】光伝送媒体としてマルチモード光ファイバを使用し、このマルチモード光ファイバを介して多値変調信号（光信号）を伝送する光伝送システムで使用される光受信機であって、

前記マルチモード光ファイバを介して伝送される前記多値変調信号を電気信号に変換し、電気信号としての前記多値変調信号を再生出力する多値変調信号再生手段と、この多値変調信号再生手段から出力される前記多値変調信号を復調して受信データ信号を再生出力する多値復調手段とを具備することを特徴とする光受信機。

【請求項14】前記多値変調信号再生手段は、前記マルチモード光ファイバを介して伝送される光信号を電気信号に変換する光／電気変換手段と、この光／電気変換手段から出力される電気信号の波形を等化し、光伝送の際の波形劣化を補正して前記多値復調手段に送出する判定帰還型等化器とを備えることを特徴とする請求項13に記載の光受信機。

【請求項15】光伝送媒体としてマルチモード光ファイバを使用し、このマルチモード光ファイバを介して多値符号列に基づき周波数多重された複数の変調信号（光信号）を伝送する光伝送システムで使用される光受信機であって、

前記マルチモード光ファイバを介して伝送された前記光信号を電気信号に変換する光／電気変換手段と、この光／電気変換手段から出力される周波数多重信号を搬送波周波数ごとに分離して前記複数の多値符号列信号

10 を再生する周波数分離手段と、この周波数分離手段で再生される複数の多値符号列信号を復号化して受信データ信号を再生出力する復号化手段とを備えることを特徴とする光受信機。

【請求項16】さらに、前記周波数分離手段から出力される前記複数の多値符号列信号の各々の波形を等化し、光伝送の際の波形劣化を補正して前記復号化手段に送出する判定帰還型等化器を備えることを特徴とする請求項15に記載の光受信機。

【発明の詳細な説明】

20 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光伝送媒体としてマルチモード光ファイバを使用する光伝送システムと、この光伝送システムにおいて使用される光送信機および光受信機に関する。

【0002】

【従来の技術】近年の通信需要の拡大に伴い、ネットワーク内を伝送される情報の量は増大の一途を辿っている。このような背景から、光ファイバを伝送媒体として用い、光信号により高速の信号伝送を行う光伝送システムに関する技術開発が盛んに行なわれている。

30 【0003】光伝送システムは、ネットワーク間を結ぶ幹線系のみならず、LAN（Local Area Network）などにもその適用範囲が広がってきており、例えば100M bps程度の伝送速度を有するFDDI（Fiber Distributed Data Interface）などとして実現されている。また近年では、ギガビットイーサ（ギガビットクラスの伝送速度を有するEthernet）などが話題となっているように、それ以上の伝送速度の実現が要望されている。

40 【0004】ところで、この種の光伝送システムにあっては、従来からベースバンド方式による信号伝送が行われていた。すなわち、光源から出力される連続光を光変調器によりオン／オフすることで、2進のデータ列をそのまま光のオン／オフに変換して送受信する方式が用いられていた。しかしながら、この方式により高速のデータ伝送を行なうためには、広い帯域の光伝送媒体と広い周波数応答を持つ光デバイスが必要になるため、装置が高価になってしまうという不具合があった。

【0005】例えばギガビットクラスの光信号伝送を行なうためには、それに見合った信号帯域を確保する必要

があり、シングルモードファイバや半導体レーザなどを使用する必要がある（マルチモードファイバでは、複数の伝播モード間での遅延時間のずれが生じるために高速伝送を行うことができない）。これらのデバイスは、現時点では非常に高価なものであるために、システム構築の際に大きなコスト負担を強いられることになる。

【0006】このことは、公共のシステムはともかく、特に企業内ネットワークに高速の光伝送システムを適用したいと考える事業者などにとっては大きな負担となるために、高速な信号伝送を低成本で実現できるシステムが要望されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】以上述べたように従来の光伝送システムには、伝送速度向上のためには高価なデバイスが必要であるために、システム構築の際の負担が大きいという不具合があった。このほかにも、従来はベースバンド方式により信号伝送を行っていたために、伝送速度の向上が頭打ちになってきているという事情もある。

【0008】本発明は上記事情によりなされたもので、その目的は、低成本で高速の情報通信を行うことが可能な光伝送システムと、このシステムに使用される光送信機および光受信機を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため第1の本発明は、光送信機と光受信機との間の光伝送媒体としてマルチモード光ファイバを使用する光伝送システムにあって、前記光送信機に、送信データ信号に多値変調を施す多値変調手段と、この多値変調手段から出力される多値変調信号を光信号に変換して前記マルチモード光ファイバに導出する電気／光変換手段とを備え、前記光受信機に、前記マルチモード光ファイバを介して伝送される前記光信号を電気信号に変換して前記多値変調信号を再生出力する多値変調信号再生手段と、この多値変調信号再生手段から出力される前記多値変調信号を復調して受信データ信号を再生出力する多値復調手段とを備えたことを特徴とする。

【0010】このような手段を講じたことにより、送信データ信号は、光送信機において多値符号（多値QAM、CAP、QPSKなど）に変換される。そして、この多値符号に基づく多値変調信号による変調が施された光信号が、マルチモード光ファイバを介して伝送され、光受信機において受信復調されることになる。

【0011】このようにすることで、信号伝送の際の効率が高められ、詳細は後述するが、例えばギガビットクラスの伝送速度を実現することが可能となる。

【0012】また、伝送媒体として安価なマルチモード光ファイバを使用している。もちろん、マルチモード光ファイバを使用することにより発光素子、受光素子なども安価なものを使用できる。このため、装置作成、シス

テム構築の際のコストを下げることが可能になる。マルチモード光ファイバとしては、例えばS I (Step Index)型プラスチックファイバなどを使用できる。

【0013】また上記目的を達成するために第2の本発明は、光送信機と光受信機との間の光伝送媒体としてマルチモード光ファイバを使用する光伝送システムにあって、前記光送信機に、送信データ信号を複数の多値符号列信号に変換する符号化手段と、この符号化手段から出力される複数の多値符号列信号を例えばそれぞれ互いに直交する複数の搬送波周波数信号に割り当て、前記複数の搬送波周波数信号を各々割り当てられた前記多値符号列信号に基づき変調し、これらの変調信号を周波数多重して出力する周波数分割多重手段と、この周波数分割多重手段からの出力信号を光信号に変換して前記マルチモード光ファイバに導出する電気／光変換手段とを備え、前記光受信機に、前記マルチモード光ファイバを介して伝送された前記光信号を電気信号に変換する光／電気変換手段と、この光／電気変換手段から出力される周波数多重信号を搬送波周波数ごとに分離して前記複数の多値符号列信号を再生する周波数分離手段と、この周波数分離手段で再生される複数の多値符号列信号を復号化して受信データ信号を再生出力する復号化手段とを備えたことを特徴とする。

【0014】このような手段を講じたことにより、送信データ信号は、光送信機において複数の多値符号列に変換される。そして、この多値符号列に基づき、周波数多重された複数の変調信号による変調が施された光信号が、マルチモード光ファイバを介して伝送され、光受信機において受信復調されることになる。例えば、多値符号列の各々の多値符号がそれぞれ割り当てられた、それぞれ直交するサブキャリアからなるOFDM信号としての光信号が、マルチモード光ファイバを介して伝送され、光受信機において受信復調されることになる。

【0015】このように、周波数多重された複数の信号を用いることにより、信号帯域を広げる際に、マルチモード光ファイバの特性において周波数応答が小さくなる領域（モード分散による）を避けることができるようになる。これにより、上記と同様の効果に加え、信号伝送の際の効率をさらに高めることができる。

【0016】また本発明は、光受信機に、前記マルチモード光ファイバを介して伝送された前記光信号を電気信号に変換する光／電気変換手段と、この光／電気変換手段から出力される前記電気信号の波形を等化し、光伝送の際の波形劣化を補正する判定帰還型等化器とを備えることを特徴とする。

【0017】このようにすることで、光伝送の際に生じた波形歪みが等化される。これにより信号帯域をさらに広げることが可能となり、伝送速度をさらに高めることができるようになる。

【0018】さらに本発明は、受信データ信号につい

て、信号伝送の際の符号誤りを訂正する誤り訂正手段を具備することを特徴とする。これにより、受信S/N比に対する制限を緩和することができるので、その分、信号帯域をさらに広げることが可能となり、その結果伝送速度をさらに高めることができるようになる。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0020】(第1の実施の形態)図1は、本発明の第1の実施の形態に係わる光伝送システムの構成を示すブロック図である。図1において、光送信機1に与えられた送信データ信号は、光信号に変換されてマルチモード光ファイバ2に導かれ、光受信機3まで伝送されて受信復調され、受信データ信号として出力される。

【0021】光送信機1は、多値変調回路11と電気/光変換器12とを備えている。多値変調回路11は、送信データ信号に対して多値直交振幅変調(多値QAM: Quadrature Amplitude Modulation)方式による変調を施し、この変調信号を駆動信号として電気/光変換器12に与えるものである。電気/光変換器12は、例えば発光ダイオード(LD)などの発光素子(図示せず)を備え、上記変調信号に応じて発光素子を駆動することで変調信号に応じた振幅および位相の光信号を出力し、これをマルチモード光ファイバ2に導くものである。

【0022】一方、光受信機3は、光/電気変換器31と、判定帰還型等化器(DFE: Decision Feedback Equalizer)32と、多値復調回路33とを備えている。マルチモード光ファイバ2を介して光受信機3に伝送された光信号は、光/電気変換器31により電気信号に変換され、判定帰還型等化器32に導かれる。この光/電変換後の電気信号は、判定帰還型等化器32により等化され、多値復調回路33に与えられてデータ列が復調され、受信データ信号として出力される。

【0023】図2に判定帰還型等化器32の構成例を示す。判定帰還型等化器32は、識別器6の前段に配置されたトランスバーサルフィルタ4と、後段に配置されたフィードバック回路5と、減算器7とを備えている。

【0024】トランスバーサルフィルタ4は、遅延回路411～41Nと、係数乗算器421～42Mと、加算器43とを備えている。ここで、遅延回路411～41Nにおける単位遅延時間T'は、QAM変調におけるシンボル周期Tの整数分の1に取るのが一般的である。係

数乗算器421～42Mにおける乗算係数C_{-N}～C_N *

$$Bd = 0.6 \times \frac{c}{n1 \times \Delta \times 1}$$

(3dB 減衰の帯域で規定、cは光速)

*は、受信波形と識別器6における誤差信号をもとに反復計算により最適値に収束させる(適応制御)。

【0025】すなわち、光/電変換器31から出力された光/電変換信号は、トランスバーサルフィルタ4に与えられ、直列に接続された遅延回路411～41Nにより順次単位遅延時間T'だけ遅延される。これらの遅延信号(遅延回路を介さないものも含む)は、係数乗算器421～42Mによりそれぞれ乗算係数C_{-N}～C_Nがかけられ、加算器43にて結合されたのち減算器7に与えられる。上記の作用によりトランスバーサルフィルタ4においては、いわゆる疊み込み演算が行なわれることになる。

【0026】一方、フィードバック回路5も、遅延回路511～51Nと、係数乗算器521～52Nと、加算器53とを備えている。ここで、各遅延回路511～51Nにおける単位遅延時間Tはシンボル周期Tと等しい。また上記と同様に、係数乗算器521～52Nの乗算係数b₁～b_Nも、識別された信号と識別器6における誤差信号をもとに反復計算により最適値に収束することになる。

【0027】すなわち、識別器6から出力された識別信号は分岐され、その一方が(他方は多値復調回路に入力される)フィードバック回路5に与えられ、直列に接続された遅延回路511～51Nにより順次単位遅延時間Tだけ遅延される。これらの遅延信号に、係数乗算器521～52Nによりそれぞれ乗算係数b₁～b_Nがかけられ、加算器53にて結合される(疊み込み演算)。そして、この加算器53からの出力信号が減算器7に送られてトランスバーサルフィルタ4の出力信号から減算され、これが識別器6にフィードバックされる。

【0028】以上のような判定帰還型等化器32の作用により、光/電気変換器31から出力される信号波形が等化され、マルチモード光ファイバ2における伝送路歪みが補正される。ところで、コア部の屈折率が一様で複数の伝播モードを持つ光伝送媒体(ステップインデックス型マルチモードファイバ)においては、伝播遅延による帯域制限と、伝送損失による信号雑音比(以下、S/N比)の劣化との兼ね合いにより伝送帯域が決定される。伝播遅延による3dB減衰帯域幅Bdは、コアの屈折率n1、比屈折率差△、及び、伝送距離lを用いて次の式で表わされる。

【0029】

【数1】

される。

【0031】

【数2】

【0030】そこで、Bの帯域を持つ信号を伝送したときの受信信号対雑音比(S/N比)SNを求めるとき、受光最大電流I_p、回路雑音I_nを用いて次のように表わ

$$SN = \frac{IP^2}{(2 \times e \times IP + In^2) \times B}$$

: Pin-PDの場合 (eは電荷量)

… (2)

$$SN = \frac{(IP \times M)^2}{(2 \times e \times IP \times M^{2+x} + In^2) \times B}$$

: APDの場合 (M:増幅率, x:過剰雑音指數) … (3)

【0032】送信信号の帯域がB dであるときのS/N比が、システム要求より定められる所定の符号誤り率を与えるS/N比より大きい場合には、伝送帯域は伝播遅延により制限されることになる。この時、本実施形態に示すような多値変調を用いた信号伝送が意義を持つことになり、1シンボルで伝送できるビット数nの最大値は受信信号のS/N比により定められる。

【0033】図3に、QAM方式を用いたときの受信S/Nと符号誤り率の関係を示す。例えば受信S/N比として16.1dB以上が確保される場合には、4QAMによるn=2の伝送が可能であり、23.2dB以上が確保された場合には、16QAMによるn=4の伝送が可能である。

【0034】次に、本実施形態における光伝送システムに対して具体的な数値を当てはめたシミュレーション結果を紹介する。ここでは、光送信機1、マルチモード光ファイバ2、光受信機3のそれそれぞれにつき以下の諸特性を仮定する。

光送信機1：

送信パワー=-3dBm

マルチモード光ファイバ2：

伝送損失=130dB/km

n1(コアの屈折率)=1.5

△(比屈折率差)=1.2%

光受信機3：

In(回路雑音)=5pA/√Hz

M(増幅率:APD)=15

x(過剰雑音指數:APD)=0.4

なお、マルチモード光ファイバ2としてS I (Step Index)型プラスチックファイバ(POF:Plastic Optical Fiber)を使用し、QAM信号を伝送するものとした。

【0035】(シミュレーション1)まず、比較のため、光受信機3における判定帰還型等化器32を使用しない(したがって、光/電気変換器31の出力が、そのまま多値復調回路33に与えられる)場合を検討する。これは、マルチモード光ファイバ2の3dB減衰の帯域内で信号伝送を行なう場合に対応する。このような場合のシミュレーション結果を図4に示す。図4(a)は、受光素子としてPin-PD(フォトダイオード)を用いた場合の伝送距離と伝送容量の関係を、図4(b)

は、APD(アバランシェフォトダイオード)を用いた場合をそれぞれ示している。これらの図から判るように、伝送距離が100mの場合には、Pin-PDを用いると256QAMにより800bpsの伝送速度を達成することが可能となり、APDを用いると1024QAMにより1.0Gbpsの伝送速度を達成することが可能となる。

【0036】さらに、光送信機1における多値変調回路11、および光受信機3における多値復調回路33において前方誤り訂正(FEC:Forward Error Correction)を施すと、伝送誤りに対する耐性がさらに高められる。例えば 10^{-3} 程度の誤り率が 10^{-1} 程度にまで改善されるため、多値変調を施す際に必要なS/N比が緩和される。一例として、239byteのデータに16byteの誤り訂正符号を付加した場合の伝送距離と伝送容量との関係を図5に示す。図5(a)はPin-PDを用いた場合、図5(b)はAPDを用いた場合である。

【0037】図5から判るように、100mのS I型プラスチックファイバ伝送においては、Pin-PDを用いると、1024QAM変調により938Mbpsの伝送速度を達成することが可能となり、APDを用いると、4096QAM変調により1.1Gbpsの伝送速度を達成することが可能となる。

【0038】さて、(シミュレーション1)では、マルチモード光ファイバ2の3dB減衰の帯域内で信号伝送を行なう場合について検討した。しかしながら、マルチモード光ファイバを使用することならではの利点として、3dB減衰の帯域fcを超える周波数領域を利用することにより伝送容量を増加させられることが挙げられる。

【0039】(シミュレーション2)判定帰還型等化器32を設けることにより、fc以上の周波数領域を利用することが可能となる。判定帰還型等化器32を使用することで、伝送の際の波形劣化を補正でき、伝播遅延による帯域制限を緩和することができるからである。ここで、補正可能な帯域幅は、判定帰還型等化器32におけるトランスバーサルフィルタ4の段数と単位遅延時間T'に依存する。

【0040】例えば、単位遅延時間T'をシンボル速度50の基本周期Tに設定し、トランスバーサルフィルタ4の

段数を7段とした判定帰還型等化器32では、伝播遅延による帯域制限の約2倍までのシンボル伝送が可能であり、単位遅延時間T'をシンボル速度の基本周期の半分であるT/2に設定した11段の判定帰還型等化器32では、約4倍までのシンボル伝送が可能になる。判定帰還型等化器32の単位遅延時間T'をさらに小さく設定し、段数を増やすと、より広帯域の信号伝送が可能になる。

【0041】但し、伝送帯域を広くすると受信S/N比が劣化するため、最大の伝送容量はS/N比により制限される。図6に、100mのS/I型プラスチックファイバ伝送における、QAM変調を使用した場合のシンボル速度と最大伝送容量との関係を示す。図6(a)はPi-n-PDとFECを用いた場合、図6(b)はAPDとFECを用いた場合で、光受信機3の条件は図4と同様にした。

【0042】図6(a)では、240Mbpsの64QAMで、伝送容量が1.46Gbpsで最大になり、APDを用いた場合には、1.34Gbpsの16QAMで、伝送容量が5.0Gbpsで最大になる。

【0043】図6から判るように、本実施形態においては伝送容量が最大となる信号帯域が存在する。これは、シンボル速度を増加させることによる伝送容量増加と、受信帯域を増加させることによるS/N比の劣化のバランスにより決定される。従って、実際のシステム設計においては、伝送容量を最大化するように信号帯域を定めることが望ましい。

【0044】このように本実施形態では、光送信機1に多値変調回路11と電気/光変換器12とを備え、送信データ信号をQAM変調信号の形で、かつ光信号として伝送する。光伝送媒体には、マルチモード光ファイバ2を使用する。光受信機2には、光/電気変換器31と、判定帰還型等化器32と、多値復調回路33とを備え、QAM変調信号を光電変換したのち波形整形し、受信復調するようにしている。

【0045】このような構成にしたことにより、信号伝送の際の効率を従来のベースバンド方式に比較して大幅に高めることができ、その結果、信号伝送速度を高速にすることが可能となる。また判定帰還型等化器32を使用することで、マルチモード光ファイバ2のモード分散による帯域制限を超えた信号伝送が可能になり、このことによっても伝送速度を高められる。

【0046】また、マルチモード光ファイバ2としてS/I型(Graded Index型でなく)プラスチックファイバを使用しているので、システム構築を低コストで行える。もちろん、費用が許せば、Graded Index型マルチモードファイバを使用しても一向に構わない。

【0047】また、プラスチックファイバを使用することによる別の利点として、ファイバの接続が(ガラスファイバに比較して)容易であることが挙げられる。これ

により、システム構築の際の作業負担を軽減することが可能となる。

【0048】(第2の実施の形態)図7は、本発明の第2の実施の形態に係わる光伝送システムの構成を示すブロック図である。なお、図7において図1と共通する部分には同一の符号を付して示し、ここでは異なる部分についてのみ説明する。本実施の形態では、上記第1の実施の形態と比較して光送信機、光受信機の構成において異なっており、区別のためにそれぞれ符号を8、9として付す。

【0049】光送信機8は、直列/並列変換回路81と、多値変調回路82と、周波数多重回路83と、電気/光変換器12とを備えている。直列/並列変換回路81は、シリアルデータとしての送信データ信号を所定のビット数(周波数多重回路83において多重される信号数分)のパラレルデータに変換するものである。多値変調回路82は、上記パラレルデータに基づき多値QAM方式による変調信号を出力する。周波数多重回路83は、この変調信号を周波数多重し、この多重信号を駆動信号として電気/光変換器12に与えるものである。

【0050】一方、光受信機9は、光/電気変換器31と、周波数分離回路91と、多値復調回路92と、並列/直列変換回路93とを備えている。マルチモード光ファイバ2を伝送された光信号は、光/電気変換器31により電気信号に変換され、周波数分離回路91に導かれる。この周波数分離回路91により、光/電変換後の電気信号が複数の信号列に変換され、この複数の信号列が多値復調回路93に与えられる。多値復調回路93では、与えられた信号列から複数のデータ列が復号化され、パラレルデータが outputされる。このパラレルデータは、並列/直列変換回路93により、シリアルデータに変換され、受信データ信号として出力される。

【0051】周波数多重回路83、周波数分離回路91は、それぞれ逆フーリエ変換回路、およびフーリエ変換回路により容易に実現可能である。このようなフーリエ変換を利用するデジタル変調方式として、直交周波数多重(OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplex)変調方式などを挙げることができる。

【0052】OFDMとは、それぞれ直交する複数の(例えば数百もの)サブキャリアのそれぞれにQAM(あるいはCAP、QPSKなど)シンボル点を割り当て、周波数多重して伝送する方式である。ここで、i番目のOFDM信号(サブキャリア)の受信信号対雑音比S/N_iを、受光最大電流I_{pt}(光/電気変換器31)、i番目の信号成分をI_{pi}、i番目の信号帯域をB_i、回路雑音をI_nとして次のように表すことができる。

【0053】

【数3】

13

$$SN_i = \frac{I_{Pi}^2}{(2 \times e \times I_{Pi} + I_n^2) \times B_i}$$

: PIN-PD の場合 (e は電荷量)

14

… (4)

$$SN = \frac{(I_{Pi} \times M)^2}{(2 \times e \times I_{Pi} \times M^{2+x} + I_n^2) \times B_i}$$

: APD の場合 (M: 増幅率、x: 過剰雑音指数) … (5)

【0054】周波数多重された各サブキャリアにおける受信信号のS/N比より、各サブキャリアにて送信可能な最大のビット数を定めることができる。次に、本実施形態における光伝送システムに対して具体的な数値を当てはめたシミュレーション結果を紹介する。ここでは、光送信機8、マルチモード光ファイバ2、光受信機9のそれぞれにつき以下の諸特性を仮定する。

光送信機8:

送信パワー = -3 dBm

マルチモード光ファイバ2:

伝送損失 = 130 dB/km, n1 (コアの屈折率) = 1.5, △ (比屈折率差) = 1.2%

光受信機9:

I_n (回路雑音) = 3 pA / √Hz (上記第1の実施形態と異なるのはこれのみ)

M (増幅率: APD) = 15, x (過剰雑音指数: APD) = 0.4

なお、マルチモード光ファイバ2としてS1型プラスチックファイバ(POF)を使用し、OFDM信号を伝送するものとした。ここでは、それぞれ2MHzの帯域を有するサブキャリア200個で100mのOFDM伝送を行なった時の、各サブキャリアにおける受信S/N比を考える。

【0055】本実施の形態では、良好なS/Nを確保することのできる周波数域では割り当てビット数を多くして伝送レートを稼ぎ、逆に伝送不可となるポイント近辺の周波数域では割り当てビット数を少なくして伝送品質の劣化を防ぐようとする。

【0056】図8に、OFDM伝送(100m)を行なった場合の、信号総帯域と伝送容量との関係を示す。ここでは、光/電気変換器31にPIN-PDまたはAPDを用い、それぞれにつきFECの有る場合とない場合とに分けてシミュレーションを行った。

【0057】PIN-PDを用いた場合、FEC無しで0~140MHzの帯域を利用して890Mbps、FEC有りで0~270MHzの帯域を利用して1.15Gbpsの信号伝送が可能となる。

【0058】一方、APDを用いた場合、FEC無しで0~620MHzの帯域を利用して1.8Gbps、FEC有りで0~640MHzの帯域を利用して2.6Gbpsの信号伝送を行なうことが可能となる。

【0059】図8から判るように、本実施の形態においても伝送容量が最大となる信号帯域が存在する。これは、周波数多重する信号を増加させることによる伝送容量増加と、受信帯域が増加することによるS/N比の劣化とのバランスにより決定される。従って、実際のシステム設計においては、伝送容量を最大化するように信号帯域を定めることが望ましい。

【0060】このように本実施形態では、光送信機8に直列/並列変換回路81と、多値変調回路82と、周波数多重回路83と、電気/光変換器12とを備え、シリアルの送信データ信号をパラレルに変換し、このパラレルデータに基づき多値QAM方式による変調信号を施した信号をOFDM方式のサブキャリアのそれぞれに割り当て、周波数多重して伝送する。すなわち、送信データ信号をOFDM方式により、かつ光信号として伝送する。光伝送媒体には、マルチモード光ファイバ2を使用する。光受信機9には、光/電気変換器31と、周波数分離回路91と、多値復調回路92と、並列/直列変換回路93とを備え、OFDM信号を光電変換したのち周波数分離し、多値復調した信号からシリアルの受信データ信号を再生するようしている。また、マルチモード光ファイバ2の特性において、伝送可能な周波数帯域にサブキャリアの周波数を割り当て、またその伝送ビット数も最適に割り当てるようしている。

【0061】このようにしたので、マルチモード光ファイバ2モード分散による伝送速度の制限を取り除くことが可能となる。その結果、信号伝送の際の効率をさらに高めることができるようになり、さらなる信号伝送速度の向上を図ることが可能となる。また、OFDMでは、個々のサブキャリアの帯域は狭いので、判定帰還型等化器を使用しなくとも良く、これにより装置の簡略化を図れる。もちろん、判定帰還型等化器を使用しても一向に構わない。また、伝送媒体としてマルチモード光ファイバ2を使用することにより、上記第1の実施の形態に示したと同様の効果を得られることは言うまでもない。

【0062】なお、本発明は上記各実施の形態に限定されるものではない。

【0063】例えば上記各実施の形態では、ディジタル変調方式としてQAM変調を使用した場合を考察したが、他のディジタル変調方式であるCAP(Carrierless Amplitude/Phase modulation)変調、QPSK(Quad

50

ture Phase Shift Keying) 变调などを利用することも可能である。また、多重化方式としても他の任意の方式を用いることができる。

【0064】また、上記各実施の形態においては、主に100mのS I型プラスチックファイバを使用した場合について検討したが、マルチモード光ファイバ2の周波数応答特性はその材質や長さにより変化するため、伝送路に合わせたシステム設計を行なう必要がある。あるいは、伝送路の特性を検出する回路と、検出された伝送路特性からシステムパラメータを動的に制御する回路を付加するようにしてもよい。

【0065】その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の変形実施を行うことが可能である。

【0066】

【発明の効果】以上述べたように第1の本発明では、光送信機に多値変調手段と電気／光変換手段とを備え、送信データ信号を多値変調信号の形で、かつ光信号として伝送する。光伝送媒体には、マルチモード光ファイバを使用する。光受信機には、多値変調信号再生手段(光／電気変換手段、判定帰還型等化器など)と、多値復調手段とを備え、多値変調信号を光電変換したのち波形整形し、受信復調するようにしている。

【0067】これにより、安価なマルチモード光ファイバを使用した際のモード間の伝搬遅延による帯域制限を最大限に利用した(あるいは越えた)光伝送を行え、伝送速度を向上させることが可能となる。

【0068】また第2の本発明では、光送信機に符号化手段(直列／並列変換回路など)と、周波数分割多重手段(多値変調回路、周波数多重回路など)と、電気／光変換手段とを備え、シリアルの送信データ信号をパラレルに変換し、このパラレルデータに基づき周波数多重された複数の多値変調信号を生成し、光信号の形で情報伝送を行う。光伝送媒体には、マルチモード光ファイバを使用する。光受信機には、光／電気変換手段と、周波数分離手段と、復号化手段(多値復調回路、並列／直列変換回路など)とを備え、複数の変調信号を光電変換したのち周波数分離し、多値復調した信号からシリアルの受信データ信号を再生するようにしている。また、マルチモード光ファイバの特性において、伝送可能な周波数帯域にサブキャリアの周波数を割り当て、またその伝送ビット数も最適に割り当てるようにしている。

【0069】これにより、さらなる伝送速度の向上を図れる。

【0070】これらのことから、低成本で高速の情報通信を行うことが可能な光伝送システム、光送信機および光受信機を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態に係わる光伝送システムの構成を示すブロック図。

【図2】 判定帰還型等化器(D F E)32の構成例を示す図。

【図3】 Q A M変調を用いたときの受信S／Nと誤り率の関係を示す図。

【図4】 p i n - P DまたはA P Dを使用したときのQ A M変調による伝送距離と伝送容量との関係を示す図。

10 【図5】 p i n - P DまたはA P Dを使用し、F E Cを施したときのQ A M変調による伝送距離と伝送容量との関係を示す図。

【図6】 100mのS I型プラスチックファイバ伝送における、Q A M変調を使用した場合のシンボル速度と最大伝送容量との関係を示す図。

【図7】 本発明の第2の実施の形態に係わる光伝送システムの構成を示すブロック図。

【図8】 本発明の第2の実施の形態における仮定に基づきO F D M伝送(100m)を行なった場合の、信号総帯域と伝送容量との関係を示す図。

【符号の説明】

1…光送信機

1 1…多値変調回路

1 2…電気／光変換器

2…マルチモード光ファイバ

3…光受信機

3 1…光／電気変換器

3 2…判定帰還型等化器

3 3…多値復調回路

30 6…識別器

4…トランスパーサルフィルタ

4 1 1～4 1 N…遅延回路

4 2 1～4 2 M…係数乗算器

4 3…加算器

5…フィードバック回路

5 1 1～5 1 N…遅延回路

5 2 1～5 2 N…係数乗算器

5 3…加算器

7…減算器

40 8…光送信機

8 1…直列／並列変換回路

8 2…多値変調回路

8 3…周波数多重回路

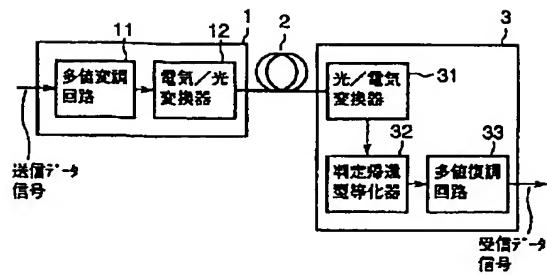
9…光受信機

9 1…周波数分離回路

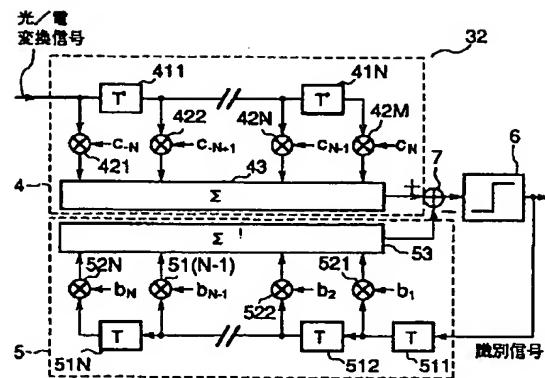
9 2…多値復調回路

9 3…並列／直列変換回路

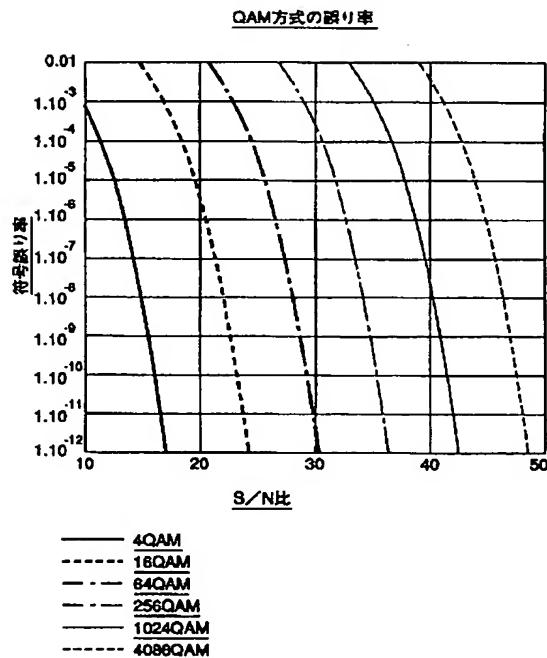
【図1】



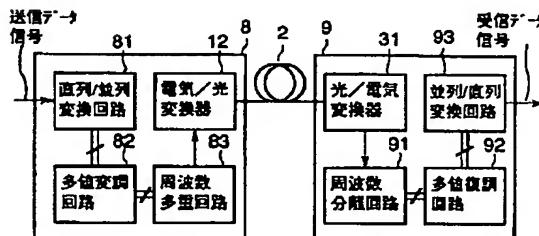
【図2】



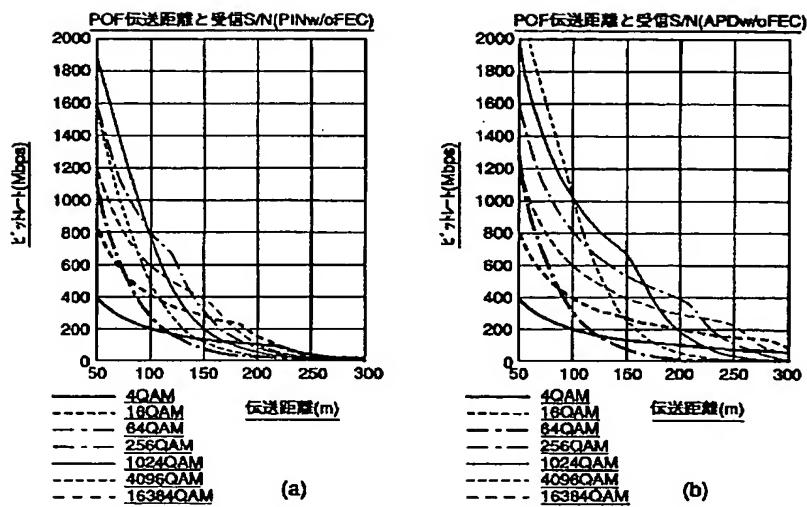
【図3】



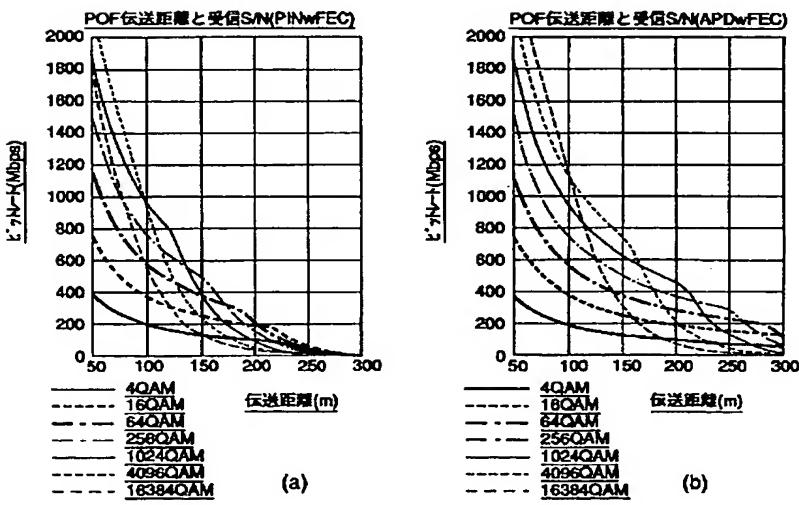
【図7】



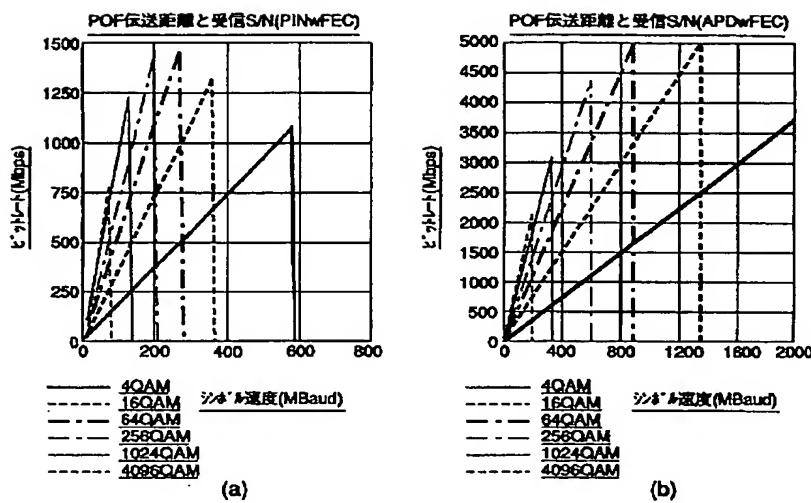
【図4】



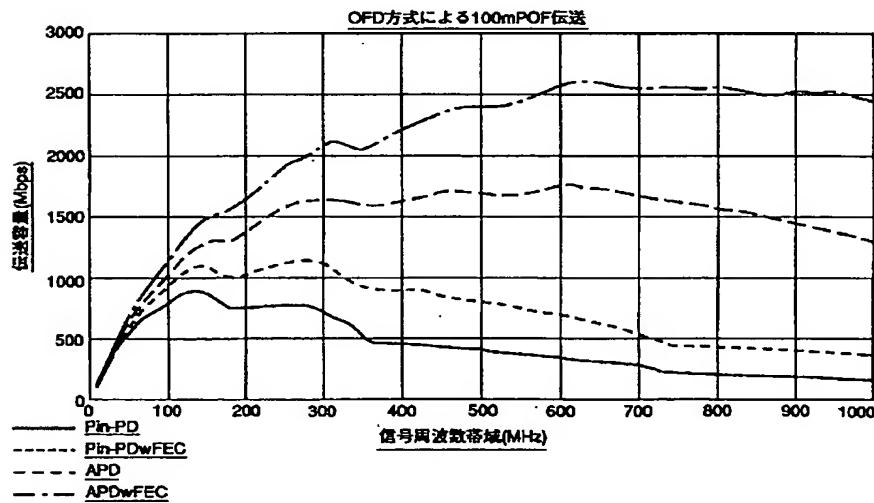
【図5】



【図6】



【図8】



フロントページの続き

(51)Int.C1.⁷
H 0 4 L 27/34

識別記号

F I

マークコード(参考)

F ターム(参考) 5K002 AA01 AA03 BA14 CA14 CA15
CA17 DA05 DA21 FA01
5K004 AA08 JA02 JA03 JD05 JD07
JE00 JG00 JH02
5K022 DD13 DD19 DD22 DD32 DD34

⑨ 日本国特許庁 (JP)

⑩ 特許出願公開

⑪ 公開特許公報 (A)

昭57-37941

⑫ Int. Cl.³
H 04 B 9/00
// H 01 L 33/00
H 01 S 3/096

識別記号

厅内整理番号
6442-5K
7739-5F
7377-5F

⑬ 公開 昭和57年(1982)3月2日
発明の数 1
審査請求 未請求

(全 2 頁)

⑭ 光出力回路

川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

⑮ 特 願 昭55-111235
⑯ 出 願 昭55(1980)8月13日
⑰ 発明者 宮内彰

⑮ 出願人 富士通株式会社
川崎市中原区上小田中1015番地
⑯ 代理人 弁理士 松岡宏四郎

明細書

1. 発明の名称

光出力回路

2. 特許請求の範囲

電気 n 値デジタル信号の n 値レベルを該 n 値レベルに対応した各識別回路に於て識別し、該各識別回路出力はそれぞれに対応した各パルス整形回路で 2 値パルスに整形され、該 2 値パルスはそれぞれに対応した各発光素子で各光 2 値デジタル信号に変換され、該各光 2 値デジタル信号は光合成回路で合成されることを特徴とした光出力回路。

3. 発明の詳細な説明

本発明は光多値伝送を行う場合の光出力回路に関するものである。従来、光デジタル信号は 2 値伝送が用いられていて光多値伝送は用いられていなかった。しかし同じ伝送帯域で多量の情報を伝送する場合 2 値に対し n 値伝送の場合 $\frac{n}{2}$ 値だけ多くの情報を伝送出来る利点を有する。

本発明は上記の点に鑑み光伝送の伝送効率を改善するために行われたものである。説明上光多値

の一例として 4 値について第 1 図で述べる。図で 1 が 1 レベル、2 が 2 レベル、3 が 3 レベル、4 が 0 レベルを表し、識別レベルは 1, 2, 3 の 3 つのレベル値となる。各レベル値の設定を例えば 1 レベルに対し 2 レベルは 1.5 倍に、2 レベルに対し 3 レベルは 1.5 倍になる様に設定する。上記の様な関係を持つ様にパルス整形を行つておけば、受信側において光信号から電気信号に変換されるとき発光素子により発生するショット雑音に対し S/N を良くすることが出来る。何故ならばショット雑音は入力レベルにほぼ比例して発生するから、入力信号を高いレベルに設定しておけば S/N が改善出来るわけである。

これに対し、多値レベルの 1 値、2 値、3 値の各レベル差が一定であると、1 値より、3 値の絶対値が高いから高いレベルだけ受信側のショット雑音が多く発生し、S/N は劣化することになる。其れ故、パルス整形に添し多値のレベルを第 1 図の様に設定しておく。

以上の様にして合成すれば光多値デジタル信号

は(1) S/N が改善され(2) $\neq 2$ 倍の情報量が伝送出来る。本発明はこの目的の実現のために入力された電気多値デジタル信号をそれぞれの多値レベルに該当した各識別回路で識別し、識別出力を該当した各パルス整形回路で波形整形し、更にそれぞれに該当した各発光素子で光2値デジタル信号に変換し、各光出力を光合成回路で合成する光出力回路を提供するものである。

次に本発明を第2図の実施例に基づいて説明する。図中5はケーブル、6は入力端子、7は各光出力の光合成回路、8は光ファイバ、 $T_1 \sim T_{(n-1)}$ は識別回路、 $P_1 \sim P_{(n-1)}$ はパルス整形回路、 $D_1 \sim D_{(n-1)}$ は発光素子を示す。

第2図において、入力端子6に入力された電気多値デジタル信号は各多値レベルに対応した各識別回路 $T_1 \sim T_{(n-1)}$ で識別され、各識別回路 $T_1 \sim T_{(n-1)}$ の出力は夫々に対応したパルス波形整形回路 $P_1 \sim P_{(n-1)}$ で第1図に示したように1値のレベル < 2 値のレベル < 3 値のレベル …… < $(n-1)$ 値のレベルと値数の大きい方のレベルを高

5はケーブル、6は入力端子、7は光合成回路、8は光ファイバ、 $T_1 \sim T_{(n-1)}$ は識別回路、 $P_1 \sim P_{(n-1)}$ はパルス整形回路、 $D_1 \sim D_{(n-1)}$ は発光素子を示す。

代理人 弁理士 松岡 宏四郎

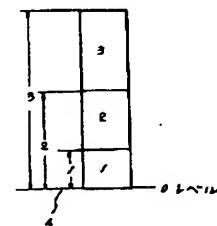
くし、各該当の発光素子を駆動し所定のレベルの光信号に変換する。それぞれの発光素子の出力は光合成回路7で合成されファイバ8に入力される。

以上本発明の特長をまとめると次の如くなる。
(1)各発光素子を各多値レベル毎にスイッチ回路で駆動しているので光パルスの立上り、立下り時間が遅い。そして該当した多値レベルに対して発光素子が個別に駆動されるので符号間干渉による出力波形歪を起さない。(2)多値レベルを S/N 均等の構成にすることが出来る。即ち各多値レベルが任意に選べるので、受信側における光・電気変換に際しての識別における S/N を最適値にすることが出来る。(3)出力パルス幅を任意に選べるので多値信号に合成したとき出力波形歪を小さく出来る。(4)各値毎に電気・光信号変換が行われるので合成された多値信号は大出力として伝送出来る。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明に用いられる多値レベル構成、第2図は本発明の実施例を示す。図中1は1レベル、2は2レベル、3は3レベル、4は0レベル、

第1図



第2図

